

4.2. Dynamika odpływu

4.2.1. Zakres badań i metoda

Opracowanie dotyczy Starej Rzeki (SR) zamkniętej przekrojem hydrometrycznym w Łazach oraz cieków odwadniających zlewnie cząstkowe Starej Rzeki, w których prowadzono badania hydrochemiczne: Leśnego Górnego Potoku (LGP), Kubaleńca (K) i Dworskiego Potoku (DP). Przedstawiono najważniejsze charakterystyki hydrologiczne badanych cieków. Podstawę opracowania stanowiły, w odniesieniu do Starej Rzeki, Dworskiego Potoku i Kubaleńca, dobowe wartości przepływu z pomiarów terminowych prowadzonych w przekrojach zamykających badane zlewnie, obejmujące lata hydrologiczne 1994-2004. W przypadku Leśnego Górnego Potoku pomiary hydrometryczne (cyfrowa rejestracja stanów wody w kroku czasowym co 10 minut) prowadzone były w znacznie krótszym okresie, tj. od 30 maja 2003 r. do 3 listopada 2004 roku. Dlatego też dynamikę odpływu tego cieku scharakteryzowano jedynie za okres roku hydrologicznego 2004 (1 XI 2003-31 X 2004) i porównano ją z dynamiką odpływu Starej Rzeki i Kubaleńca za analogiczny okres. W obu przypadkach średnie dobowe wartości przepływu obliczono na podstawie stanów wody rejestrowanych co 10 min., przeliczonych na wartości natężenia przepływu z użyciem – sporządzonych w tym celu – krzywych przepływu.

4.2.2. Podstawowe charakterystyki hydrologiczne

Podstawowe charakterystyki hydrologiczne badanych cieków zestawiono w tabeli 4.1. Biorąc pod uwagę niewielki zasięg przestrzenny obszaru badań, można przyjąć, że sumy opadów mierzone na stacji meteorologicznej w Łazach dobrze reprezentują opady w całej zlewni Starej Rzeki, a zatem w niewielkim stopniu różnią się od sum opadów w innych częściach zlewni. Tymczasem różnice średnich rocznych wartości odpływu (H) z badanych zlewni są bardzo duże i zawierają się w zakresie od 156 (Dworski Potok) do 224 mm (Stara Rzeką). Zlewnia Kubaleńca zajmuje pod względem odpływu pozycję

Tabela 4.1. Parametry hydrologiczne badanych cieków za lata hydrologiczne 1994-2004 oraz za rok hydrologiczny 2004 (Stara Rzeka, Leśny Góry Potok, Kubaleniec)

Table 4.1. Hydrological characteristics of the investigated streams for the hydrological years 1994-2004 and for the hydrological year 2004 (Stara Rzeka, Leśny Góry Potok and Kubaleniec).

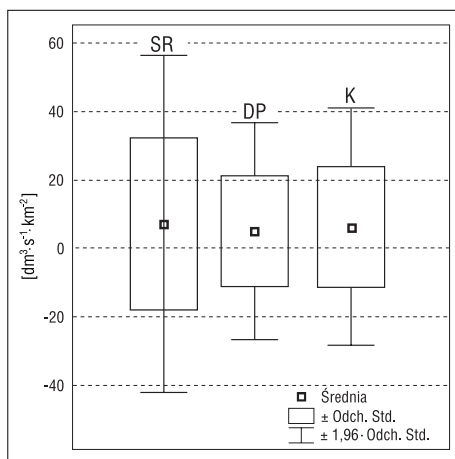
Parametr	Symbol	Jednostka	Stara Rzeka	Dworski Potok	Kubaleniec	Stara Rzeka *	Leśny Góry Potok *	Kubaleniec *
				1994-2004			2004	
Obszar zlewni	A	[km ²]	22,2	0,29	1,03	22,2	0,48	1,03
Roczna warstwa odpływu	H	[mm]	224	156	195	122	74	91
Śr. przepływ	Q	[dm ³ ·s ⁻¹]	157,52	1,44	6,38	85,48	1,12	3,06
Mediana przepływu	Q _{med.}	[dm ³ ·s ⁻¹]	67,82	0,69	2,64	24,59	0,54	0,43
Śr. przepływ z min. mies.	SNQ	[dm ³ ·s ⁻¹]	40,48	0,41	1,417	19,43	0,25	0,51
Odpływ podziemny	Q _{podz.}	[%]	25,7	28,4	22,2	22,7	22,5	17,0
Abs. min. przepływu	Q _{min.}	[dm ³ ·s ⁻¹]	0,02	0	0	0,46	0,07	0
Abs. maks. przepływu	Q _{maks.}	[dm ³ ·s ⁻¹]	20321,5	134,3	609,8	4455,9	193,0	106,2
Śr. odpł. jednostkowy	q _{śr.}	[dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²]	7,1	4,97	6,19	3,85	2,33	2,97
Min. odpływ jednostkowy	q _{min.}	[dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²]	0,009	0	0	0,02	0,16	0
Maks. odpływ jednostkowy	q _{maks.}	[dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²]	915,38	463,2	591,99	200,7	402,1	103,1
Abs. amplituda przepływu	Amp _{abs.}	[dm ³ ·s ⁻¹]	20321,45	134,33	609,75	4455,84	192,95	103,1
Amplituda wzgl. przepływu	Amp _{wzgl.}	-	129,01	93,28	95,51	52,13	172,28	33,69
Odch. stand. przepływu	σ ₀	[dm ³ ·s ⁻¹]	558,62	4,69	18,15	217,68	3,72	8,00
Wsp. zmienności przepływu	c _v	-	3,55	3,26	2,84	2,55	3,32	2,61

* na podstawie zapisu limnigrafu cyfrowego rejestrującego stany wody co 10 min.

pośrednią (195 mm). W przypadku Leśnego Górnego Potoku, wielkość odpływu w 2004 r. (74 mm) była zdecydowanie niższa od odpływu ze zlewni Starej Rzeki (122 mm). Także i w tym przypadku Kubaleniec zajmuje pozycję pośrednią (91 mm) (tab. 4.1).

Duże zróżnicowanie wielkości odpływu w badanych zlewniach cząstkowych Starej Rzeki nie znajdowało już tak wyraźnego odzwierciedlenia w zróżnicowaniu udziału podziemnego zasilania określonego na podstawie średniej wartości z minimów miesięcznych (SNQ). Jego wartość zawierała się w wieloleciu 1994-2004 w granicach: od 22,2% (Kubaleniec) do 28,4% (Stara Rzeka). W 2004 r. udział odpływu podziemnego ($Q_{\text{podz.}}$) w odpływie całkowitym był w zlewniach Starej Rzeki i Leśnego Górnego Potoku niemal identyczny 22,5-22,7%, za to wyraźnie niższy w zlewni Kubaleńca (17%). Tak niski udział odpływu podziemnego świadczy o niewielkiej zdolności retencyjnej zlewni Starej Rzeki i znajdujących się w jej obrębie zlewni cząstkowych, co wykazały już także wcześniejsze badania (Chelmiński i in. 1995, Pociąg-Karteczka 1995). Konsekwencją niskiej zdolności retencyjnej zlewni, a tym samym niewielkiej zasobności wodnej badanych zlewni, są także parametry zmienności przepływu: amplituda bezwzględna ($Amp_{\text{abs.}}$) i względna ($Amp_{\text{wzgl.}}$) oraz współczynnik zmienności (C_v). Zaskakujące jest jednak to, że największą zmiennością odpływu jednostkowego charakteryzuje się zlewnia Starej Rzeki, a nie jej niewielkie zlewnie cząstkowe: Dworski Potok i Kubaleniec (ryc. 4.4). Odmierna jest relacja między parametrami zmienności Starej Rzeki i Leśnego Górnego Potoku (2004 r.). Wartości amplitudy względnej ($Amp_{\text{wzgl.}}$) i współczynnika zmienności przepływów (C_v) Starej Rzeki są niższe niż w przypadku Leśnego Górnego Potoku. W tym przypadku Kubaleniec charakteryzuje się parametrami zmienności podobnymi do Starej Rzeki (tab. 4.1). Istotną przyczyną jest zapewne niemal całkowite zalesienie zlewni Leśnego Górnego Potoku w odróżnieniu od zlewni Starej Rzeki, charakteryzującej się zalesieniem wynoszącym ponad 40% oraz Kubaleńca, charakteryzującej się brakiem lasów. Pomimo wyższej wartości maksymalnego odpływu jednostkowego ($q_{\text{maks.}}$), średni odpływ jednostkowy ($q_{\text{min.}}$) i warstwa odprowadzanej wody (H) ze zlewni Leśnego Górnego Potoku, są niższe niż w zlewni Starej Rzeki i Kubaleńca. Jest to świadectwem wyższych strat wody na ewapotranspirację w środowisku leśnym niż rolniczym. W przypadku wysokich opadów, po nasyceniu wierzchniej warstwy gleb wodą, retencyjna rola lasu okazuje się ograniczona, co sprzyja wyższym maksymalnym spływom jednostkowym.

Ograniczenia w interpretacji stwierdzonych różnic i podobieństw pomiędzy



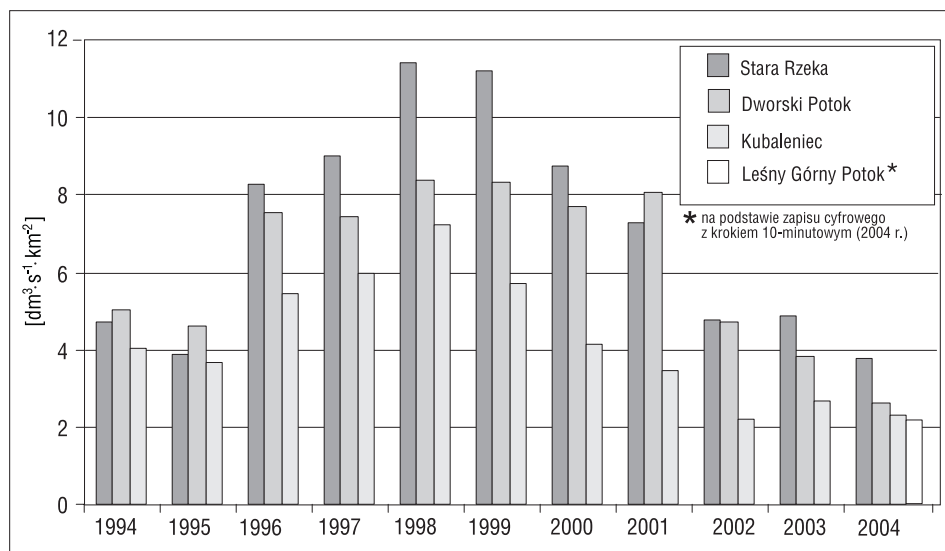
Rycina 4.4. Parametry odpływu Starej Rzeki (SR), Dworskiego Potoku (DP) i Kubaleńca (K) za lata hydrologiczne 1994-2004

Figure 4.4. Runoff characteristics of Stara Rzeka (SR), Dworski Potok (DP) and Kubaleniec (K) for the hydrological years 1994-2004

hydrologicznymi cechami badanych zlewni cząstkowych wiążą się z ich niewielkimi rozmiarami. Największa z nich – zlewnia Kubaleńca ma obszar zaledwie 1,03 km², a najmniejsza – Dworskiego Potoku – 0,29 km². Zaliczają się one zatem do kategorii tzw. małych zlewni, w których parametry odpływu mogą być obarczone błędami wynikającymi z niewielkich ich rozmiarów, a więc m.in. relatywnie dużym udziałem obszaru zerowego odpływu czy też potencjalnie znaczną niezgodnością działów wodnych: topograficznego i podziemnego.

4.2.3. Odpływ rzeczny w przebiegu wieloletnim

Niewielka retencyjność badanych zlewni przejawia się w znacznym zróżnicowaniu odpływu w poszczególnych latach (ryc. 4.5). W latach z największym odpływem (1998, 1999) jego wartość była ponad dwukrotnie – w przypadku Starej Rzeki, a w Kubaleńcu – nawet trzykrotnie wyższa niż w latach charakteryzujących się najniższymi wartościami odpływu (2002-2004). Podkreślenia wymaga jednak to, że najniższe wartości odpływu stwierdzono dopiero po kilkuletnim okresie sukcesywnie malejących odpływów notowanych od 1998 roku. Najniższe wartości zanotowano w 2004 r., pomimo tego, iż rokiem o najniższej sumie opadów był rok poprzedni - 2003. Badania hydrochemiczne w ramach projektu, którego dotyczy niniejsze opracowanie, prowadzone były w latach 2002-2004. Zjawisko sukcesywnie malejących wartości odpływu w tym okresie wymaga uwzględnienia



Rycina 4.5. Średnie roczne wartości odpływu w zlewniach Starej Rzeki, Dworskiego Potoku i Kubaleńca w latach hydrologicznych 1994-2004

Figure 4.5. Mean annual runoff values from the catchments of Stara Rzeka, Dworski Potok and Kubaleniec in hydrological years 1994-2004

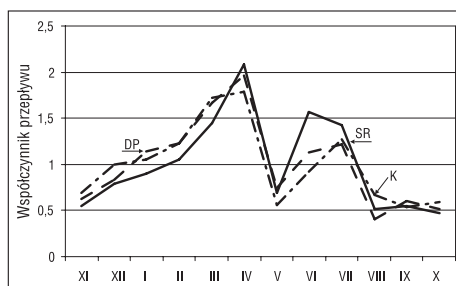
przy interpretacji wieloletnich zmian chemizmu wód rzecznych, gdyż w przypadku niektórych jonów, w latach suchych, o niskim odpływie, może dochodzić do zatężania rozpuszczonych w wodzie składników wód rzecznych.

4.2.4. Sezonowe zmiany odpływu

Rytm sezonowych zmian odpływu najlepiej charakteryzuje przebieg miesięcznych wartości współczynnika odpływu, będącego ilorazem średniego przepływu w danym miesiącu i przepływu średniego rocznego. Jest to zatem miara względna pozwalająca na dokonywanie porównań odpływu ze zlewni o różnej wielkości i różnym odpływie.

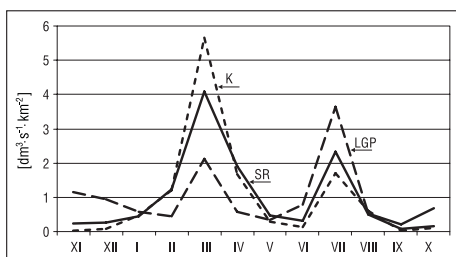
Na rycinie 4.6 przedstawiono przebieg wartości współczynnika przepływu w profilu zamykającym zlewnię Starej Rzeki w Łazach oraz w profilach zamykających zlewnie cząstkowe Kubaleńca i Dworskiego Potoku. Wszystkie spośród badanych zlewni charakteryzują się, zgodnie z klasyfikacją Parde'go, złożonym reżimem odpływu z dominującym wezbraniem wiosennym (roztopowym) nad wezbraniem letnim (opadowym). Okresem niskich przepływów jest późne lato i jesień (VIII-X) i od tego czasu następuje systematyczny wzrost odpływu. Reżim odpływu Starej Rzeki i jej dopływów nie wykazują istotnych różnic między sobą. Sezonowy przebieg wahań odpływu jest zgodny z przebiegiem wahań innych rzek zachodniej części Karpat: Soły, Skawy i Raby (Chelmicki i in. 1999).

Porównanie sezonowego przebiegu odpływu ze zlewni Starej Rzeki, Leśnego Górnego Potoku i Kubaleńca w 2004 r. (ryc. 4.7) wykazało podobny przebieg odpływu, z tą różnicą, że o ile Stara Rzeki i Kubaleniec wykazywały wyższą kulminację odpływu na wiosnę, to Leśny Górny Potok – latem. Roztopy w zlewni leśnej, eksponowanej na północ nie sprzyjają wysokim kulminacjom przepływów. Woda roztopowa zasila pokrywę, co powoduje, iż w dalszej części roku uwilgotnienie pokrywy ułatwia formowanie spływu powierzchniowego w wyniku obfitych opadów.



Rycina 4.6. Roczny reżim odpływu Starej Rzeki (SR), Dworskiego Potoku (DP) i Kubaleńca (K) na podstawie danych za lata hydrologiczne 1994-2004

Figure 4.6. Annual flow regime of Stara Rzeki (SR), Dworski Potok (DP) and Kubaleniec (K) based on data from the hydrological years 1994-2004



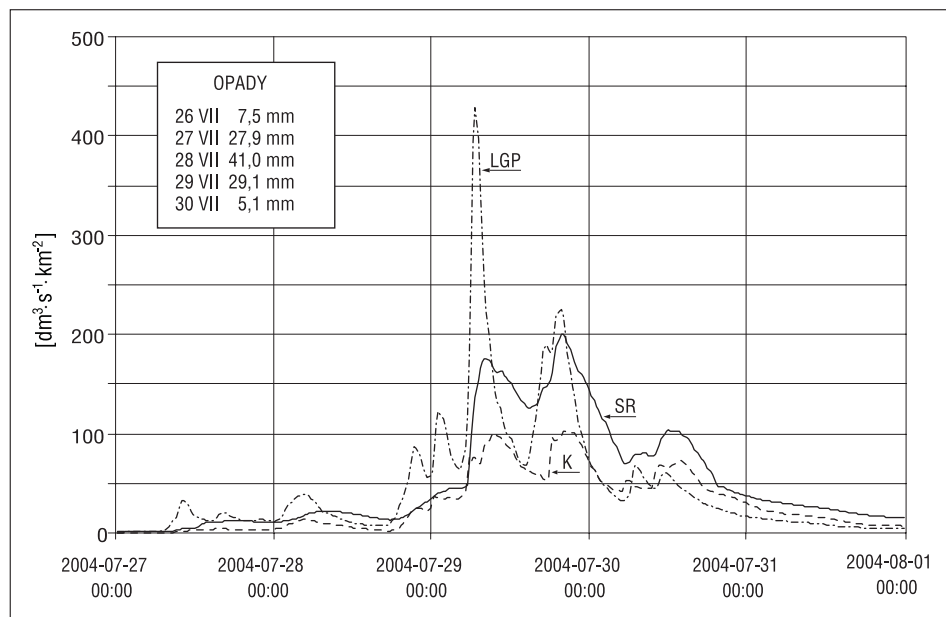
Rycina 4.7. Reżim odpływu Starej Rzeki (SR), Kubaleńca (K) i Leśnego Górnego Potoku (LGP) w 2004 r.

Figure 4.7. Flow regime of Stara Rzeki (SR), Kubaleniec (K) and Leśny Górny Potok (LGP) in 2004

Potwierdza to analiza wezbrania w lipcu 2004 r. przedstawiona w części dotyczącej dobowych zmian przepływu.

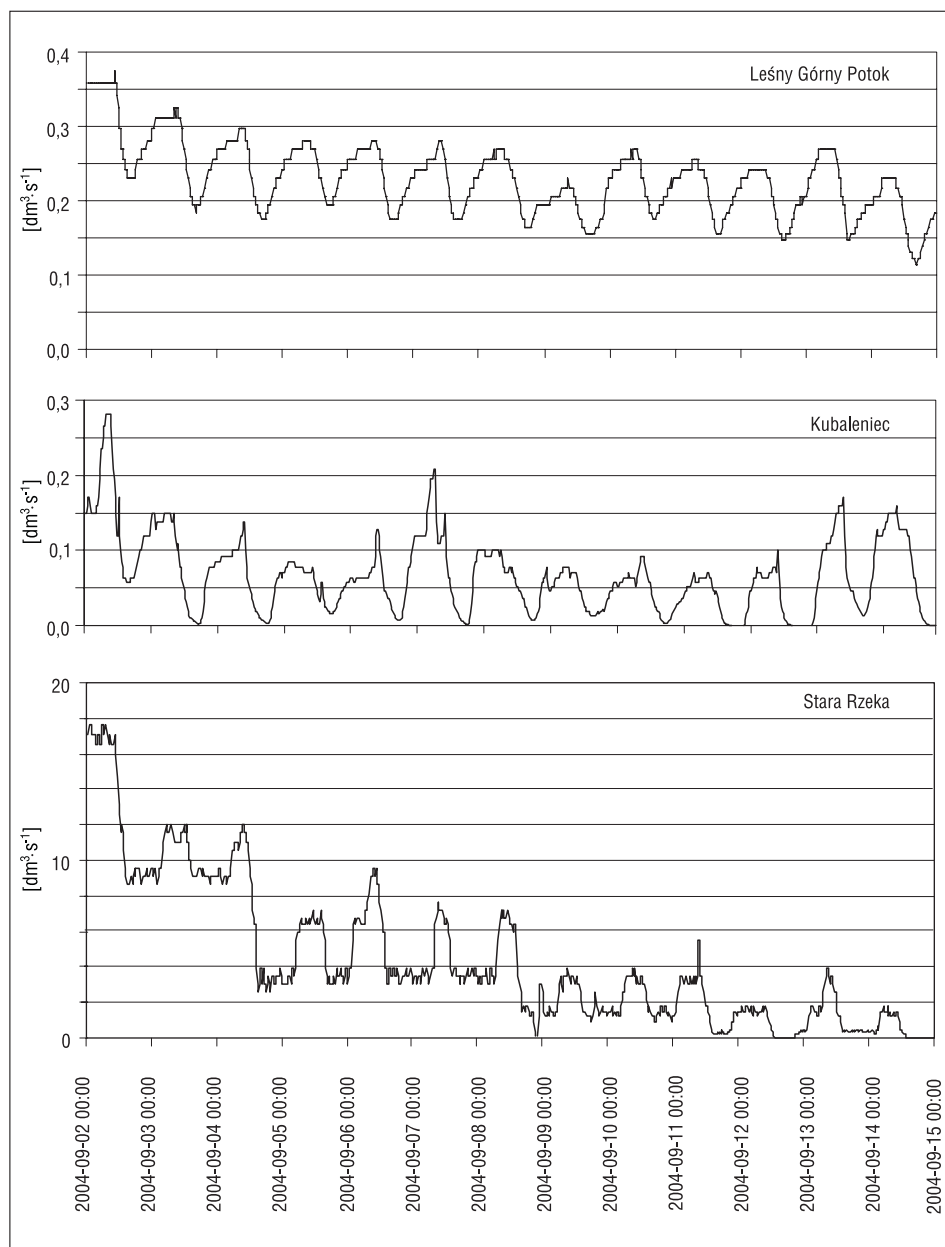
4.2.5. Dobowe zmiany przepływu

Stara Rzeka oraz cieki odwadniające jej zlewnie cząstkowe: Dworskiego Potoku, Kubaleńca i Leśnego Górnego Potoku charakteryzuje znaczna dynamika zmian przepływów. Jest to wynikiem słabej zdolności retencyjnej utworów fliszowego podłoża oraz lokalnie dużych spadków terenu. Wezbrania wywołane przez opady nawałne są gwałtowne i krótkotrwałe, czemu dodatkowo sprzyjają niewielkie rozmiary zlewni. Ilustracją tego jest przebieg najwyższego w 2004 r. wezbrania wywołanego przez obfite opady w dniach 26-30 lipca o sumie 110 mm (ryc. 4.8), kiedy to chwilowy, maksymalny odpływ jednostkowy w zlewni Leśnego Górnego Potoku był w pierwszej fazie wezbrania znacznie wyższy niż w przekroju zamykającym zlewnię Starej Rzeki i Kubaleńca. W drugiej fazie wezbrania różnica między Starą Rzeką i Leśnym Górnym Potokiem była nieznaczna. Świadczy to o tym, iż pomimo prawie całkowitego zalesienia zlewni Leśnego Górnego Potoku, jej zdolność do retencji wody jest ograniczona. Stara Rzeka charakteryzuje się narastającymi kulminacjami wraz z wyczerpaniem zdolności do retencji wody opadowej w pokrywach.



Rycina 4.8. Przebieg wezbrania Starej Rzeki (SR), Kubaleńca (K) i Leśnego Górnego Potoku (LGP) w lipcu 2004 r.

Figure 4.8. Course of the flood runoff of Stara Rzeka (SR), Kubaleniec (K) and Leśny Górny Potok (LGP) in July 2004



Rycina 4.9. Oscylacje odpływu ze zlewni Leśnego Górnego Potoku, Kubaleńca i Starej Rzeki w czasie nizinówki jesiennej 2004 r.

Figure 4.9. Runoff oscillations from the catchments of Leśny Górny Potok, Kubaleniec and Stara Rzeka during the low flow period of Autumn 2004

W czasie niskich stanów wody wywołanych brakiem opadów, przy utrzymujących się stosunkowo wysokich temperaturach powietrza, następuje stopniowe szczyptywanie zasobów wód podziemnych (ryc. 4.9). Spadek przepływu nie jest jednak jednostajny, gdyż zaznaczają się regularne oscylacje wywołane dobowym cyklem ewapotranspiracji; najniższe przepływy występują w późnych godzinach popołudniowych i wieczorem, po czym w ciągu nocy stopniowo narastają by kulminować w godzinach porannych. Wraz ze wzrostem temperatury powietrza natężenie przepływu gwałtownie maleje, aż do osiągnięcia dobowego minimum. Wielokrotnie w czasie badań następował w ciągu dnia zupełny zanik odpływu, który pojawiał się na powrót w godzinach nocnych, stopniowo narastając aż do godzin porannych. W przypadku Starej Rzeki dobowe wahania przepływu spowodowane tym zjawiskiem są rzędu kilku $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a w przypadku jej dopływów – rzędu dziesiątych części $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Hydrochemiczne konsekwencje tego zjawiska przedstawiono w dalszej części tomu.

4.2.6. Podsumowanie

W latach objętych analizą odpływu ze zlewni Starej Rzeki i jej dopływów stwierdzono stopniowy wzrost odpływu do 1998 r., a następnie stopniowy jego spadek do 2004 roku.

Stara Rzeką oraz ciekami odwadniające jej zlewnie cząstkowe charakteryzują się:

- złożonym reżimem przepływów, z kulminacjami: wiosenną (roztopową) i letnią opadową; okresem niskich przepływów jest jesień,
- znaczną dynamiką wahań przepływów, o czym świadczą bardzo wysokie wartości parametrów zmienności odnoszących się zarówno do wartości średnich, jak i ekstremalnych,
- niskim udziałem podziemnego zasilania rzek, co – wraz z parametrami zmienności – świadczy o niewielkiej zdolności retencyjnej zlewni,
- wewnątrzdobowymi fluktuacjami natężenia przepływu w lecie, szczególnie w przedłużających się okresach bezopadowych, aż do całkowitego zaniku odpływu.

Wbrew utartym opiniom o łagodzącym wpływie lasu na dynamikę przepływów, w zalesionej zlewni Leśnego Górnego Potoku wezbrania letnie charakteryzują się dynamicznymi zmianami odpływu, natomiast w okresie wiosennym odznaczają się większą stabilnością niż zlewnie o mieszanym (Stara Rzeką) i wybitnie rolniczym użytkowaniu (Kubaleniec, Dworski Potok).